



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

ULB

## Beitrag zum Rakelproblem

Scheuter, Karl R.; Bognar, D.

(1968)

DOI (TUpriints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014126>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering

16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14126>

---

Sonderdruck aus »DRUCK-PRINT« Heft 4/1968, Seite 293

**DRUCK**  
**PRINT**

# Beitrag zum Rakelproblem

K. R. Scheuter, D. Bognar

# Beitrag zum Rakelproblem

K. R. Scheuter, D. Bognar

## 1. Einleitung

Dieser Beitrag befaßt sich mit den hydraulischen und mechanischen Rakelkräften. Er soll dem Konstrukteur und dem Drucker einige Hinweise über die Kräfteverhältnisse an der Rakel geben und die für den Entwurf eines Rakelsystems wichtigen Daten liefern.

Die Arbeit besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil befaßt sich mit den hydraulischen Kräften; der zweite Teil behandelt die mechanischen Kräfte, die mit Hilfe theoretischer Überlegungen rechnerisch erfaßt werden konnten.

## 2. Die hydraulischen Kräfte

### 2.1 Die Abmessungen der Versuchseinrichtung

Zur Messung der hydraulischen Kräfte wurde ein Rakelmesser mit einer Breite von 1060 mm verwendet. Bild 1 zeigt den Querschnitt durch den Rakelhalter, die Rakel und die Stützrakel.

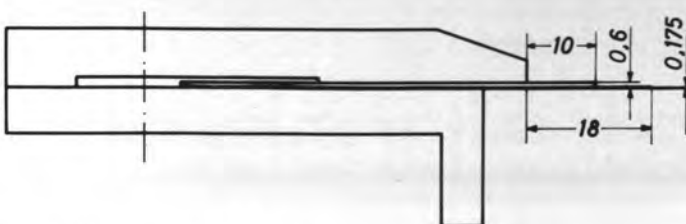


Bild 1: Abmessungen der Rakel

Der bei den Versuchen verwendete Formzylinder war ungeätzt und hatte einen Durchmesser von 350 mm und eine Druckbreite von 950 mm.

Jeder Versuch, die Farbdruckmessungen mit Praxisfarbe durchzuführen, scheiterte wegen des schnellen Trocknens der Tiefdruckfarbe. Deswegen wurde als Farbersatz eine Mischung aus 92,5 Vol.% Glycerin und 7,5 Vol.% Wasser verwendet. Die Zähigkeit dieses Glycerin-Wasser-Gemisches wurde mit dem Frikmar-DBGM-4-Meßbecher auf eine Durchflußzeit von 17 Sekunden eingestellt. Während der gesamten Versuchszeit blieb die Zähigkeit der Versuchsflüssigkeit konstant.

Prof. Dipl.-Ing. Karl R. Scheuter, Direktor des Instituts für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Alexanderstraße 22.

Dipl.-Ing. Daniel Bognar, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Alexanderstraße 22.

Das spezifische Gewicht der Glycerin-Wasser-Mischung  $\gamma_{GI}$  betrug  $1.241 \text{ p/cm}^3$ . Da das spezifische Gewicht einer Tiefdruckfarbe davon abweicht, müssen die in den Diagrammen dargestellten Drücke  $p$  und die daraus abgeleiteten Ersatzkräfte  $P$  auf das spezifische Gewicht der Tiefdruckfarbe umgerechnet werden. Es gilt

$$p_{\text{Farbe}} = \frac{\gamma_{\text{Farbe}}}{\gamma_{\text{Glycerin}}} p_{\text{Glycerin}}$$

Ziel dieser Messungen war es, die Abhängigkeit des Farbdruckes unter dem Rakelmesser von der Formzylinderdrehzahl und dem Rakelwinkel zu erfassen.

Der Rakelwinkel  $\alpha$  ist der Winkel, den die unbelastete Rakel mit der Tangente an den Formzylinder einschließt. Der Winkel  $\varphi$  zwischen der Drucklinie, dem Zylinderzentrum und der Berührungslinie der Rakelschneide wurde bei allen Messungen annähernd konstant gehalten.

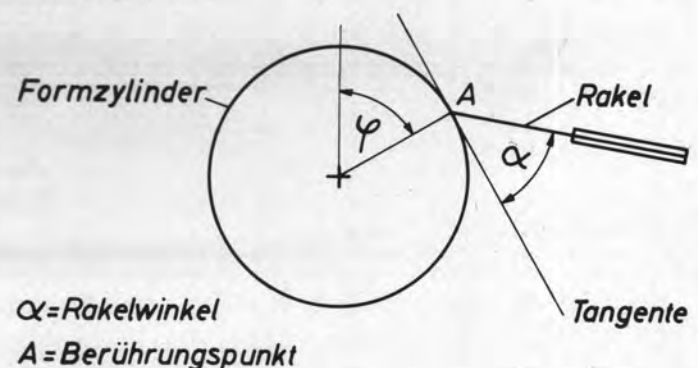


Bild 2: Darstellung der Rakelgeometrie.

### 2.2 Versuchsaufbau und Eichenordnung

Die Messung des Farbdruckes erfolgte mittels vier Quarzgebern, die nach dem piezo-elektrischen Effekt funktionieren. Diese Geber reagieren sehr empfindlich auf Druck und Zug; sie waren daher für das vorliegende Meßproblem besonders geeignet.

Für die Eichung der Geber wurde eine hydraulische Waage eingesetzt. Die Anordnung (Bild 3) sei im folgenden kurz beschrieben: Der Quarzgeber war über einen Gummischlauch mit 1,5 mm lichter Weite mit einem Zylinder verbunden, der bis zu etwa einem Drittel mit Wasser gefüllt war. Ein Glaskolben mit dem Durchmesser von 27,7 mm wurde mit Gewichten konzentrisch belastet, so daß ein hydraulischer Druck entstand.

Der Geber lieferte ein dem hydraulischen Druck proportionales Ladungssignal, das einem Verstärker zugeführt wurde. Der am

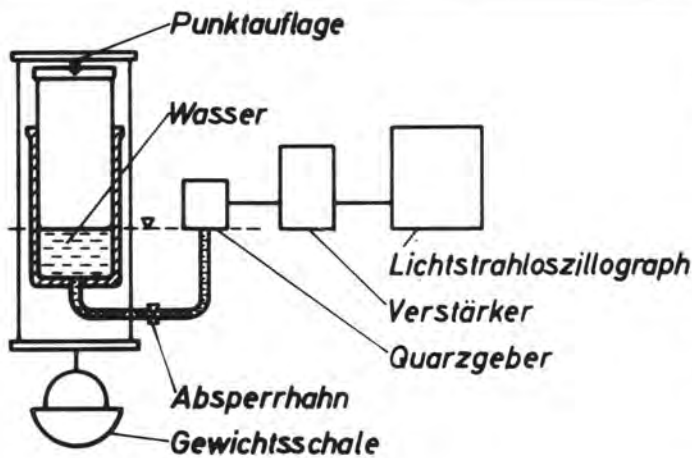


Bild 3: Eichenordnung.

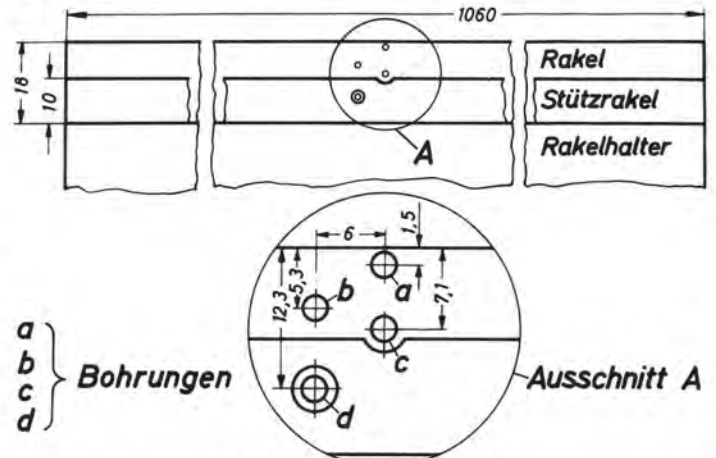


Bild 4: Anordnung der Bohrungen in der Rakel.

Ausgang des Verstärkers vorhandene Strom war der Ladung proportional und wurde mittels eines Lichtstrahloszillographen registriert.

### 2.3 Durchführung der Versuche

Die Messungen erfolgen an der Versuchstiefdruckmaschine des Institutes für Druckmaschinen und Druckverfahren. Zur Erfassung des Farbdruckes wurden in der Mitte des Rakelmessers vier Bohrungen angebracht (Bild 4).

Jede dieser Öffnungen war über einen Gummischlauch mit dem Quarzgeber verbunden. Auf diese Weise war es möglich, den hydraulischen Druck an den Stellen der Bohrungen zu messen. Wegen der einbaubedingten Überhöhung des Meßgebers entstand ein Meßfehler, der vom Rakelwinkel  $\alpha$  abhängig war. Er betrug im Maximum  $0,03 \text{ p/mm}^2$  und war gegenüber den interessierenden Farbdrücken vernachlässigbar. Bild 5 zeigt die Meßanordnung.

Zunächst wurde für jede einzelne Meßstelle der Farbdruck als Funktion der Formzylinderdrehzahl bei verschiedenen konstanten Rakelwinkeln dargestellt. Bild 6 zeigt ein Beispiel.

Es interessiert jedoch in erster Linie der Verlauf des Farbdruckes über der Rakeltiefe. In Bild 7 wurde deshalb für jede gemessene Rakelwinkelstellung der Farbdruck als Funktion des Abstandes  $x$  von der Rakelschneide aufgetragen.

Die nach der Rakelung auf dem Zylinder zurückbleibende Farbmenge ist gegenüber der vom Formzylinder zur Rakel transportierten Farbmenge verschwindend klein. Daher entsteht an der Berührungsstelle von Rakel und Zylinder ein Staupunkt, in welchem sich der Stauchdruck  $q = \frac{1}{2} \rho v^2$  einstellen muß. Die Ordinatenpunkte der Druckkurven in Bild 7 sind daher immer die von der Drehzahl abhängigen Staudrucke. Mit der Entfernung von der Rakelschneide fällt der Farbdruck stark ab und mündet schließlich in die  $x$ -Achse.

2.4 Die Fläche unter der Druckkurve entspricht einer auf die Einheit der Rakelbreite bezogenen Kraft. Sie sei im folgenden einfach Farbkraft  $P$  genannt. Es gilt:

$$P = \int_{x=0}^{x(p=0)} p \, dF$$

Diese Kraft  $P$  greift im Schwerpunkt der Fläche unter der Druckkurve an. Der Abstand zwischen dem Schwerpunkt und der Rakelschneide wird mit  $s$  bezeichnet. Man ermittelt nun für die einzelnen Diagramme nach Bild 7 die Farbkraft  $P$  und den Abstand  $s$  ihres Angriffspunktes von der Rakelkante. Nach der Umrechnung der Drehzahl auf die Umfangsgeschwindigkeit des Formzylinders und nach Berücksichtigung des mittleren spezifischen Gewichts einer Tiefdruckfarbe ( $\gamma = 1 \text{ kp/dm}^3$ ) gelangt man zu einer Dar-

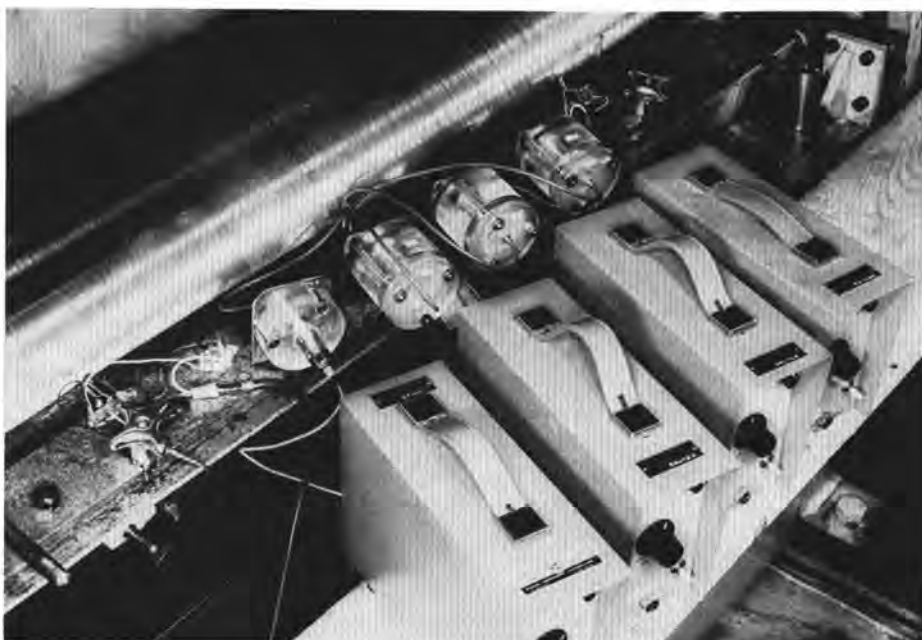


Bild 5: Anordnung der Meßeinrichtung.

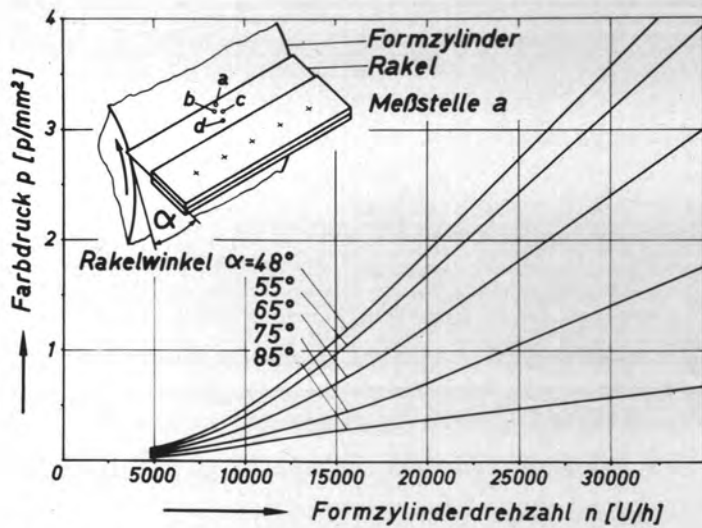


Bild 6: Farbdruckverlauf an der Meßstelle a.

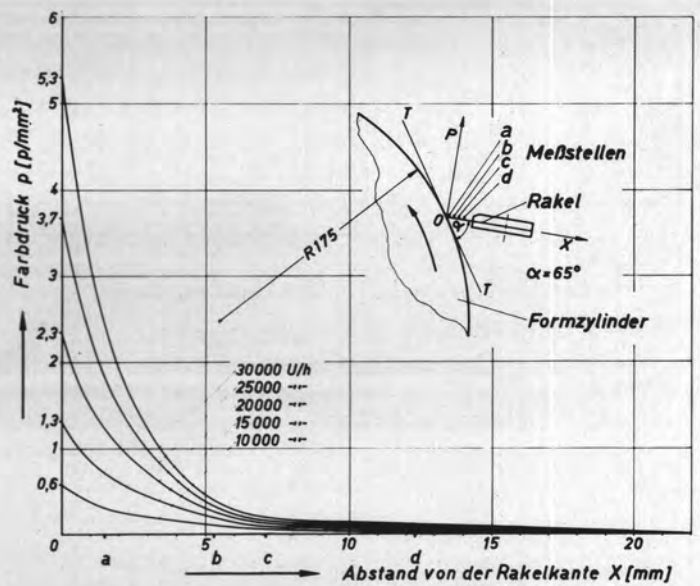
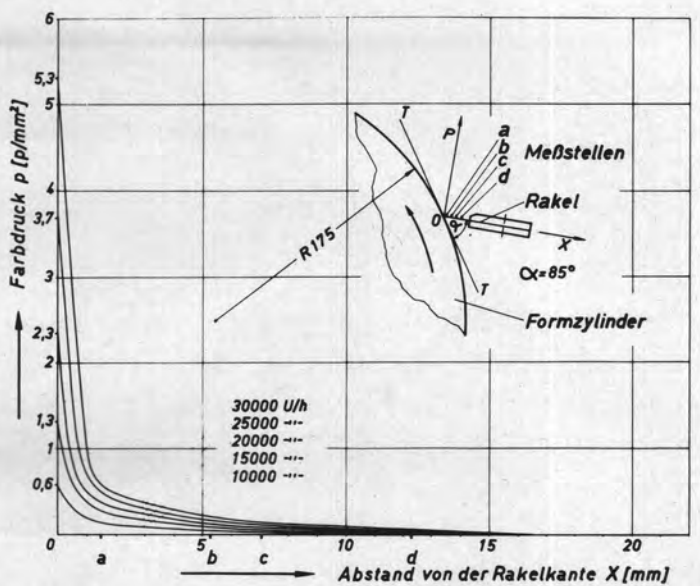
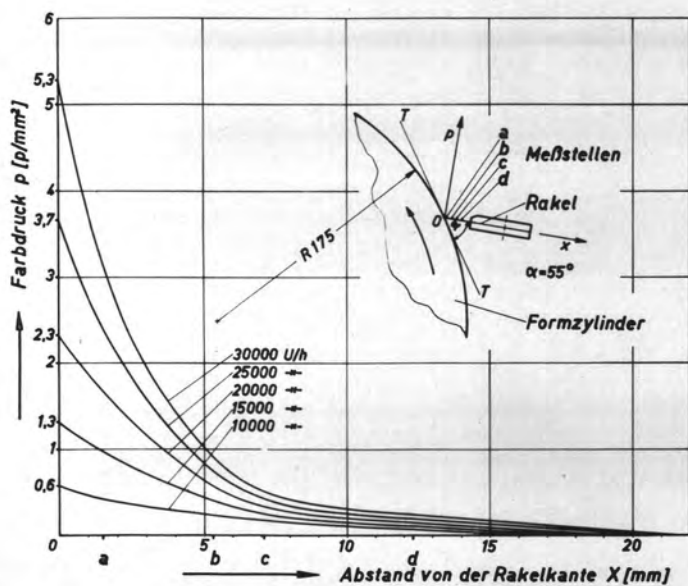
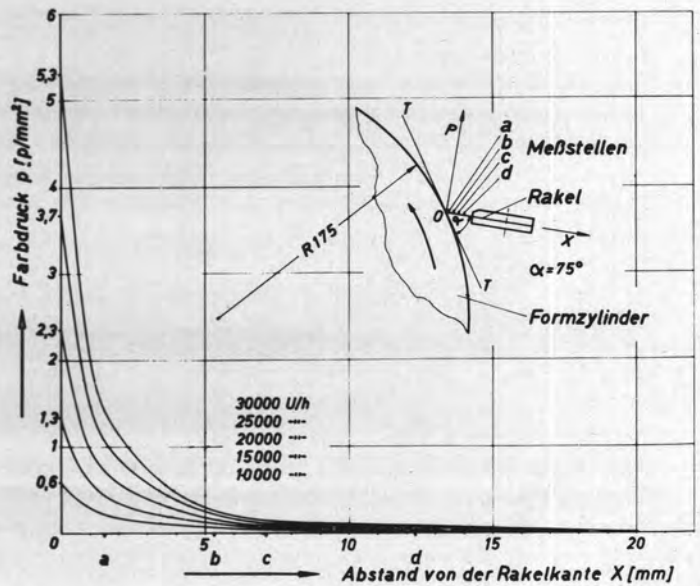
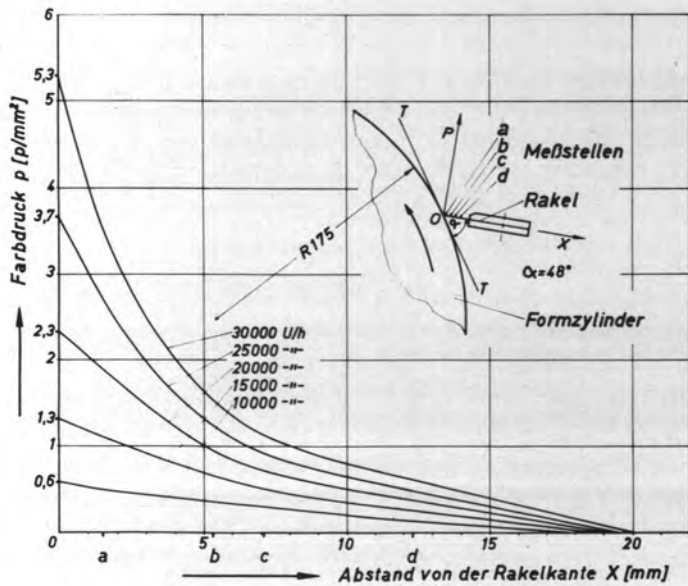


Bild 7: Farbdruckverlauf über der Rakelmessertiefe  $x$ .





stellung der Meßergebnisse, die für den Konstrukteur direkt aus-  
sagefähig ist (Bild 8).

In Bild 8 sind Farbkraft  $P$  und Abstand  $s$  als Funktion der Pa-  
piergeschwindigkeit  $v$  für verschiedene Rakelwinkel aufgetragen.  
Das Diagramm gibt dem Konstrukteur die Möglichkeit, in einfacher  
Weise die auf die Rakel wirkende Farbkraft nach Lage und Größe  
zu bestimmen. Je nach Umfangsgeschwindigkeit und Rakelwinkel  
verlagert sich die Farbkraft in Richtung der Rakelschneide oder  
umgekehrt.

Aus der Geometrie einer vorliegenden Rakelkonstruktion kann  
man das zur Überwindung der Farbkraft erforderliche Moment in  
einfacher Weise berechnen.

Aus Bild 8 folgt:

$$M_o = (l - s) P b \quad [\text{mkp}] \quad (1)$$

Hierin ist

$l$  der in Richtung des Rakelmessers gemessene Abstand zwischen  
Rakelschneide und der Lagerung des Rakelhalters  
 $b$  die wirksame Rakellänge (Zylinderballenbreite)  
 $s$  der Schwerpunktabstand von der Rakelschneide  
 $\alpha$  der Rakelwinkel  
 $v$  die Umfangsgeschwindigkeit

Zahlenbeispiel

Gegeben:  $l = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$   
 $b = 1000 \text{ mm} = 1,00 \text{ m}$   
 $\alpha = 65^\circ$   
 $v = 7,5 \text{ m/sec.}$

Gesucht:  $M_o$  [mkp]

Für die Geschwindigkeit  $v = 7,5 \text{ m/sec}$  und  $\alpha = 65^\circ$  entnimmt  
man dem Diagramm (Bild 8) die Farbkraft  $P$  und den Schwer-  
punktabstand  $s$ .

Man erhält  $P = 6,7 \text{ kp/m}$   
 $s = 2,9 \text{ mm} = 0,0029 \text{ m.}$

Man setzt nun diese Werte in die Gleichung (1) ein und erhält:  
 $M_o = (0,06 - 0,0029) \cdot 6,7 \cdot 1 = 0,383 \quad [\text{mkp}]$

### 3. Rechnerische Ermittlung der Anpreßkraft der Rakel

Bei einem unbelasteten, formgenauen Formzylinder müßte nur  
das vom Farbdruck herrührende Moment überwunden werden, um  
ein Abheben der Rakel vom Zylinder zu verhindern. In diesem Fall  
wäre eine einwandfreie Rakelung des Zylinders gerade noch mög-  
lich.

Wird der Zylinder vom Presseur belastet, so biegt er sich durch.  
Diese Durchbiegung wird in der Mitte am größten sein. Bei kon-

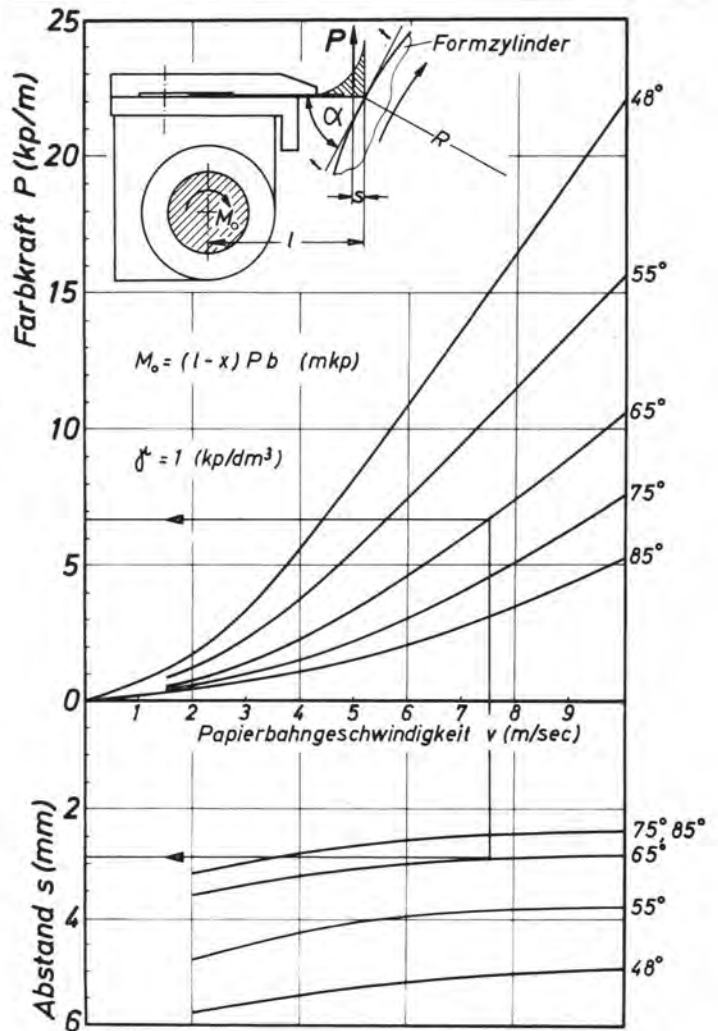


Bild 8: Hydraulische Kräfteverhältnisse an einer Tiefdruckrakel.

stantem Anstellmoment wird die Rakel dort den Zylinder nicht  
mehr berühren; es wird Farbe durchgelassen. Das Anstellmoment  
muß also vergrößert werden. Infolge dieses Zuwachses entsteht an  
der Rakelkante eine Auflagekraft  $Q_1$ . Sie ist gleich der Anpreß-  
kraft, die die Rakelschneide in die größte Zylinderdurchbiegung  
wieder hineindrückt, so daß auch dort ein einwandfreies Rakeln

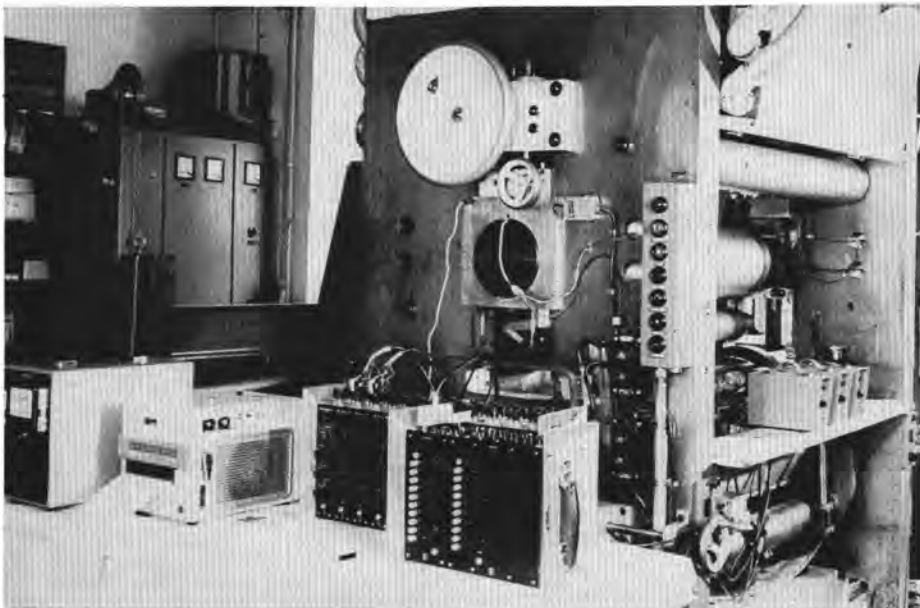


Bild 9: Gesamtansicht der Meßeinrichtung.







$$Q_2 = \frac{E \cdot b}{8(1-\nu^2)} \left( \frac{h}{a} \right)^3 w_2$$

$$\left\{ 2 - \left[ 2 + (2-\nu) \left( \frac{a}{b} \right)^2 (n \cdot \pi^2) \right] \frac{2}{n \cdot \pi} \right\} [\text{kp}] \quad (14)$$

Mit Hilfe dieser Gleichungen (13, 14) läßt sich die gesamte mechanische Auflagekraft  $Q$  berechnen, die die Rakelschneide sowohl in die größte Zylinderdurchbiegung als auch in die größte Vertiefung der Zylinderoberfläche (Dellentäler) hineindrückt. Die Gleichungen für die Auflagekräfte  $Q_1$  und  $Q_2$  wurden programmiert, so daß nun die Möglichkeit besteht, die Rechnung für beliebige Rakelkonstruktionen durchzuführen.

Wie die Rechnung zeigt, beeinflussen niedrige Dellenzahlen  $n$  die Auflagekraft  $Q_2$  nur unwesentlich. Dagegen wächst die Auflagekraft bei großen  $n$  stark an. Dies bedeutet, daß kleine Dellen im Zylinder kritisch sind. Für die Rechnung wurde  $n = 5$  angenommen. Das bedeutet, daß ein Zylinder von 1 m Ballenlänge drei Dellen und entsprechend zwei Buckel aufweist (vergl. Bild 11).

Schließlich wurden noch die mechanischen Kräfte  $Q$  nach der reinen Biegetheorie des Balkens gerechnet. Es wurde dabei angenommen, daß die Durchbiegung an der Rakelschneide auf ihrer ganzen Länge gleich, nämlich  $w = w_1 + w_2$  sei. Hierbei lieferte die Balkentheorie Ergebnisse, die um den Faktor 2,5 größer waren, als die mit der Plattentheorie errechneten Werte. Man kann also für Übersichtsrechnungen die Balkentheorie verwenden, wenn man das Ergebnis durch 2,5 dividiert.

#### 4. Vergleich der Kräfte

Das Ergebnis der Rechnung sowohl als der Messungen ist in Bild 14 dargestellt.

In diesem Diagramm sind die Farbkraft  $P$  und die Schwerpunktverschiebungen  $s$  als Funktion des Rakelwinkels entsprechend Bild 8 noch einmal aufgetragen. Das Diagramm zeigt zudem noch zwei ausgewählte Kurven für die mechanischen Kräfte  $Q$ .

Durch eine sinnvolle Variation der Größen  $\varphi$ ,  $f_1$  und  $f_2$  erhält man Kurvenverläufe für  $Q$ , die innerhalb der beiden im Diagramm gezeigten Grenzbereiche liegen.

Das Bild zeigt, daß es ungünstig ist, mit kleinem Rakelwinkel  $\alpha$  zu rakeln. Zwar ist dabei die mechanische Kraft  $Q$  klein, die Farbkraft  $P$  wächst dagegen sehr stark an. Angenommen, der Drucker arbeitet mit kleinem Rakelwinkel  $\alpha$ , so muß er die Rakel sehr stark anpressen, um die hohe Farbkraft zu überwinden. Diese Rakelanpressung verändert er während des Betriebes der Maschine normalerweise nicht mehr. Fährt er nun mit geringerer, z. B. Einzugsgeschwindigkeit, so wird die Rakel unnötig stark angepreßt, da jetzt, wie man dem Diagramm entnehmen kann, eine weit kleinere Farbkraft an der Rakel auftritt. Es entsteht also eine überschüssige Auflagekraft, die eine schnellere Abnutzung von Rakel und Zylinder verursacht.

Andererseits wird die Farbkraft mit wachsendem Rakelwinkel  $\alpha$  kleiner. Der Winkel  $\alpha$  läßt sich jedoch nicht beliebig vergrößern,

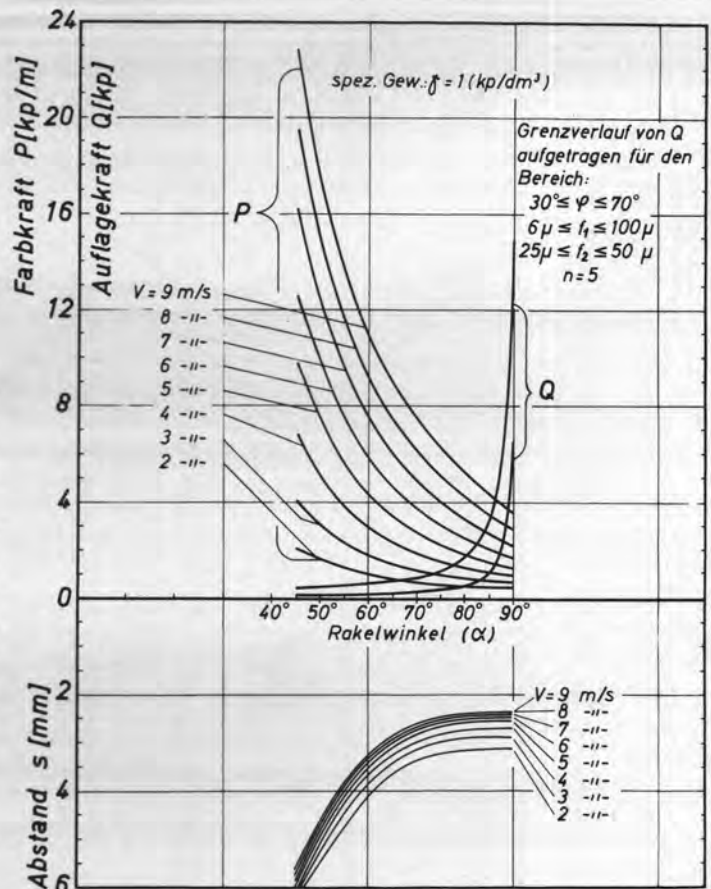


Bild 14: Hydraulische und mechanische Kräfteverhältnisse an einer Tiefdruckrakel.

da sonst die mechanischen Kräfte zu stark anwachsen. Dies führt dann wiederum zur vorzeitigen Abnutzung. Auf Grund dieser kräftemäßigen Betrachtungen empfiehlt es sich also, mit einem Rakelwinkel in der Größenordnung von  $\alpha = 80^\circ$  zu fahren.

#### 5. Zusammenfassung

Es wurden die hydraulischen Kräfte an der Rakel gemessen und die als Folge der Abweichungen von der zylindrischen Form entstehenden mechanischen Kräfte errechnet. Der Vergleich der Kräfte zeigt, daß im allgemeinen ein Kräfteoptimum bei einem Rakelwinkel in der Größenordnung von  $\alpha = 80^\circ$  zu erwarten ist.

##### Literatur:

1. Girkmann, Karl: „Flächentragwerke“, Einführung in die Elastostatik der Scheiben, Platten, Schalen und Faltwerke. Springer-Verlag, Wien 1963.
2. Wolmir, A. S.: „Biegsame Platten und Schalen“. VEB-Verlag für Bauwesen, Berlin 1962.

Finanzieller Träger des vorstehenden Forschungsthemas ist die Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e. V. mit Zuwendungen des Bundeswirtschaftsministeriums über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF).

#### On the Doctor Blade Problem

The article will appear in English in a following issue.

#### Sur le Problème de racle

L'article traite le sujet des forces de racle hydrauliques et mécaniques et sert à donner au constructeur et imprimeur quelques informations sur les rapports de forces sur la racle, et à fournir des données importantes pour projeter un système

de racle. Le travail comprend deux parties. La première partie de l'article traite les forces hydrauliques, la deuxième partie les forces mécaniques qui ont pu être déterminées par des calculs à l'aide de considérations théorétiques.